

## 品質の事前折込により手戻りを防ぐ『仕込み』

“ContourFlat\_Preparation” that can Modify a Machining-area Before Generating Tool Path.

蓮 沼 博 行

**要 約** CAM データ作成作業では、自動化によって大幅な作業工数削減が実現できている。しかし、仕上げ加工は複雑な要因が相互に関連し、自動化の適用が非常に難しく、手戻りも発生しがちである。その原因を調査し、それらを解決するために、目視と手修正のプロセスを折り込んだ仕込み機能を実装した。これにより手戻りが減り、工数を削減できた。

**Abstract** Man hour of data creation in CAM operation is significantly reduced by automation. But, the automation of finish processing is difficult, as complex factors are interrelated. To investigate the causes of problems, and to solve these problems, we implemented the process of visual and manual repairs. With this process, rework and work time can be reduced.

### 1. はじめに

プレス金型の加工は、鋳造された鋳物素材を加工する作業から始まる。この鋳物素材は、加工対象形状を鋳物の取り代分（10mm 程度）膨らませた形状である。鋳物素材は、まず加工対象形状から 1mm 程度残した状態まで「粗取り加工」し、次に残しがなくなるまで「仕上げ加工」する。仕上げ加工では 1mm 程度の取り代を例えば  $\phi 30$  のボール工具（工具先端が直径 30mm の球形状）で 2 回に分け、最初は取り代 0.1mm 程度まで加工し、次に残しゼロまで加工するのが一般的である。このような仕上げ加工では、加工データの計算精度は、1/1000mm 程度が要求される。また精度が十分であっても、経路方向、経路間の間隔（ピッチ）、工具の送り速度などが適切でない場合（箇所）には、加工後の金型表面に微小な加工痕や筋あるいは加工目が残ることがある。この好ましくない模様は、プレス成形されたパネルに転写されることもある。したがって、仕上げ加工の加工データ作成においては、細心の注意が払われる。

一方で、加工データ作成作業は、長年にわたり改善が重ねられ、標準化も徹底されている。そして、更なる工数削減活動が行われている。

本稿では、曲面加工の仕上げ加工における工数削減に注目し、新たな作業プロセスを考案し、作業の手戻りを防ぐことにより作業工数の削減を実現した仕込みについて紹介する。作業効率を上げるための事前準備を仕込みと呼ぶ。経路作成の事前準備にて領域の目視確認と修正を可能にし、以降の経路作成で手戻りを無くして作業効率を上げる。

2 章では、加工対象形状の傾斜角度を基準に、加工領域を自動で平坦部と傾斜部に分割して、加工機能を割り付ける取り組みを説明している。この機能を傾斜分割と呼び、曲面仕上げ加工に適用できれば、大きな工数削減が期待できる。しかしながら、傾斜分割の適用ではいくつかの課題が発生することを 3 章で具体的に示す。曲面仕上げ加工では、複雑な要因を考慮しなければならない。そして、工数増は作業プロセスにおける手戻りが原因であり、領域分割の結果

を評価できないことが問題である。4章では、傾斜分割の適用を実用化するために次期CAMが提供する新たな作業シナリオ、および仕込みの機能を解説する。5章では、仕込みの適用結果と評価について、6章では、今後の課題について述べる。

## 2. 曲面仕上げ加工への傾斜分割の適用

プレス金型の加工対象は、大きく製品面、プロファイル面、型構造部に分けられ、製品面は意匠面、準意匠面、および構造面から構成される。「意匠面」の加工は、工数をかけてでも品質にこだわって作成する。その部分は「複合面沿い加工」という「意匠面」に特化した加工機能が用意されている。「準意匠面、構造面」は、「意匠面」レベルの高い加工品質が要求されない反面、作業工数は可能な限り少なくしたい。

「意匠面」は形状の起伏が少ないため、作成する領域数は少ない。しかし「準意匠面、構造面」は形状の起伏が多く複雑なため、作成する領域数が多くなり、作業工数は増加するのが一般的である。作業工数を減らすためには加工領域を傾斜角度に応じて「平坦部」と「傾斜部」に自動で分ける方法が有効である。「平坦部」と「傾斜部」の加工方法について説明する。

### 2.1 平坦部の加工方法

形状の傾斜角度が小さい箇所が平坦部になり（図1②）、スキャン加工と面沿い加工が利用される。閉領域をスキャン平面（工具軸と指定方向で決まる平面）沿いに経路を作成する「スキャン加工」（図1③）や、閉領域線を等ピッチで面上オフセットした経路を作成する「面沿い加工」（図1④）で加工すると、経路間ピッチの粗密が少ない経路ができる。

スキャン加工は工具軸方向（+Z方向）から決定したピッチで経路を作成するため、平坦部ではカスプ<sup>\*1</sup>残りを小さくできる。傾斜角度が大きい箇所にスキャン加工を適用すると、カスプ残りが大きく加工に適さない（図2）。

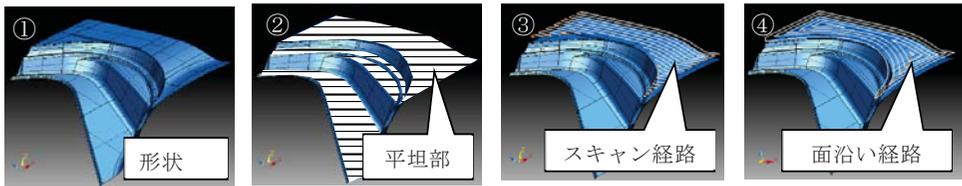


図1 平坦部とスキャン経路

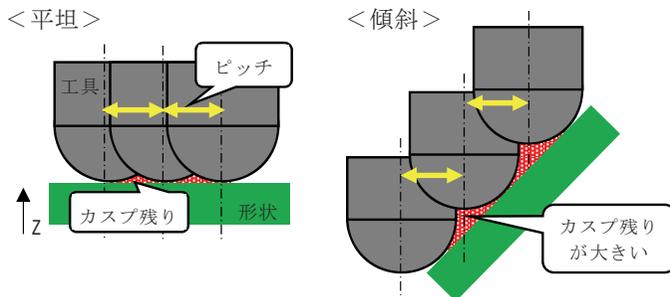


図2 スキャン加工を行ったときのカスプ残り

## 2.2 傾斜部の加工方法

形状の傾斜角度が大きい箇所が傾斜部になり（図3中央）、等高輪郭加工が使われる。傾斜部は、平坦部に比べ傾斜角度が大きいので、形状を等高平面（工具軸に直交する平面）で輪切りにした等高線の経路を作成する「等高輪郭加工」（図3右）で加工すると、経路間ピッチの粗密が少なくできる。等高輪郭加工は工具軸方向からピッチを決めるため、経路間のカスプ残りを小さくできる。傾斜角度の小さい平坦部に等高輪郭加工を適用すると、ピッチで決めた経路の間隔が大きすぎて加工に適さない（図4）。

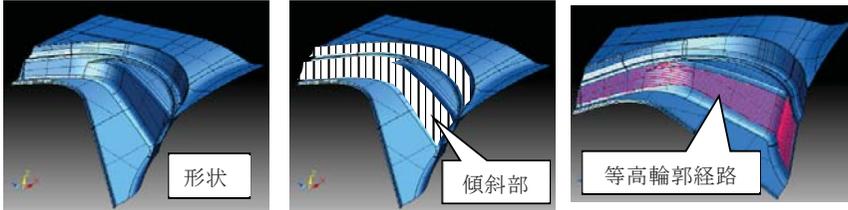


図3 傾斜部と等高輪郭経路

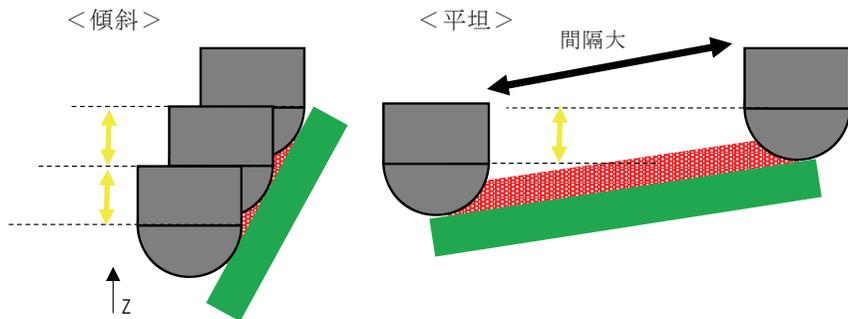


図4 等高輪郭加工を行ったときのカスプ残り

## 3. 曲面仕上げ加工への傾斜分割適用における課題

曲面仕上げ加工へ傾斜角度による加工領域分割および加工法の割付を適用<sup>\*2</sup>したときに発生する課題について説明する。

### 3.1 課題1：平坦部経路と傾斜部経路の重なり

平坦部と傾斜部の経路が一部同じ範囲に作成される例を図5に示す。二重に加工することで加工痕が残ったり、工具の摩耗を早めたりすることがあり、経路の重なりは加工として望ましくない。

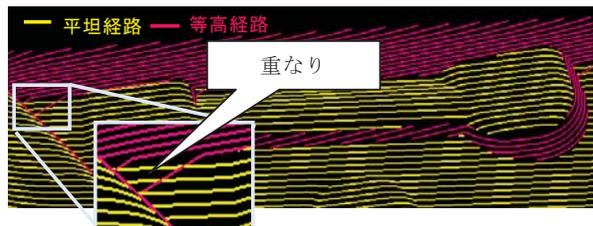


図5 平坦部経路と傾斜部経路の重なり例

平坦部と傾斜部の境界は、傾斜角度から曲線として定義する。それぞれの領域に対してスキャン経路や等高輪郭経路を計算する段階で、経路の途切れが発生しないように、一度定義した境界線を平滑化する。これによって隣り合う領域の不整合（重なり、隙間）が発生する。

### 3.2 課題2：経路の途切れと微小な経路

図6では平坦部領域の間に細長い傾斜領域が発生して、傾斜部の等高輪郭経路がブツブツと途切れている。途切れた箇所では空中動作が発生するため送り速度が上がらず、加工時間が増加し、かつ溝状の加工痕が残る場合がある。また、平坦部経路も途切れるので空中動作が多発して加工上好ましくない。さらに、細長い傾斜領域自体が途切れて微小領域が発生し、微小な経路が発生する（図7）。

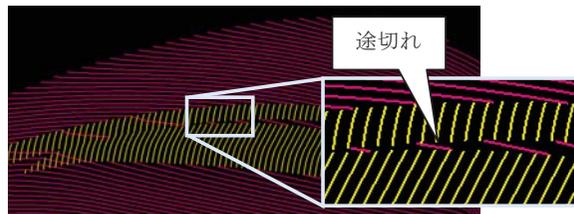


図6 経路の途切れの例

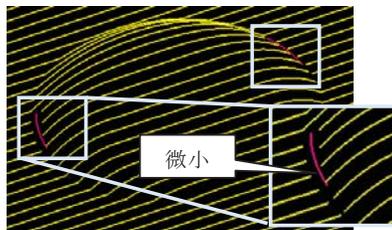


図7 微小な経路の例

これらの現象は、平坦部の中に細長い段差がある箇所、あるいは傾斜部の中に細長い平坦部がある箇所ですら起きる。経路計算ソルバでは、このような細長い領域や微小な領域を周囲に併合させる考慮をしているが、併合可否の判断はシステムでは難しい。

ある程度の幅をもつ領域でも、スキャン方向が適切でない、あるいはL字型領域のように一つのスキャン方向ではどうしても経路が途切れてしまう場合もある。傾斜部も同様である。

### 3.3 課題3：経路間ピッチが粗い

図8では、平坦部経路のピッチが粗くなっている。経路間ピッチが粗い箇所では、カスプ高さが目標よりも大きくなり、再加工や磨き作業が必要になる。これは、経路方向が妥当でなく、経路が勾配方向を横切る状態で発生する（図9）。一つの領域では経路方向の指示は全体に一つしか定義できないために発生している場合もあり、領域を分割してそれぞれの領域で経路方向を指示できれば回避できることもある。

等高残加工では平坦部をスキャン加工か面沿い加工のどちらか一方でしか指示できないため、経路のピッチ間隔が均一にならない場合もある（図10）。領域ごとに加工法を決めるようなことができないと解決できないと考えられる。

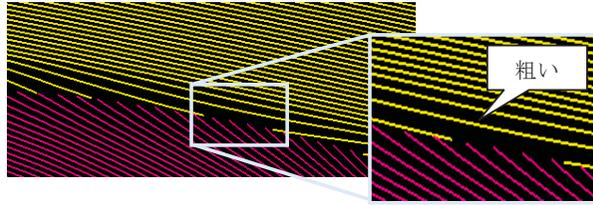


図8 経路間ピッチが粗い例

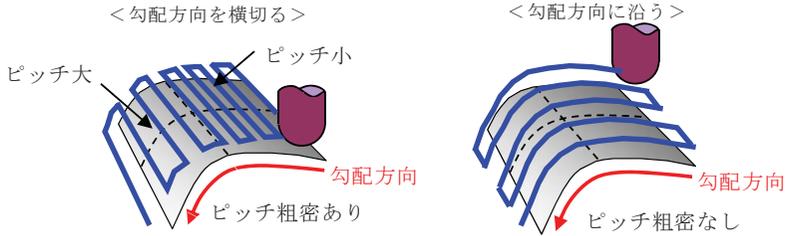


図9 経路方向と勾配方向

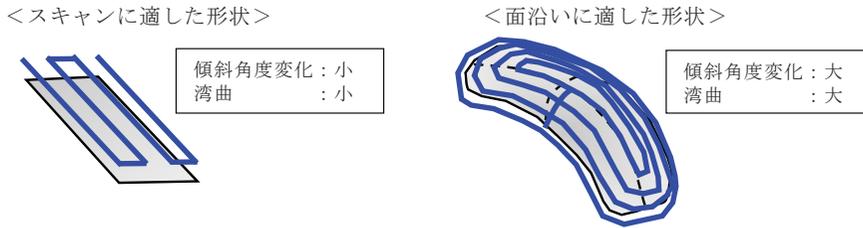


図10 形状に適した加工法の例

### 3.4 課題4：経路のガタツキ

領域線がガタついていると、面沿い加工の場合（図11，12）にはそのガタツキがそのまま経路に反映され、送り速度が上がらず加工上の問題が起きる可能性が大きい。またスキャン加工においても、ガタツキによって経路の途切れが発生する可能性がある（図12）。

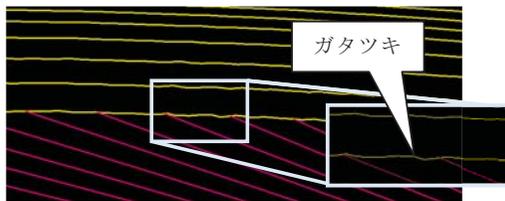


図11 経路のガタツキの例

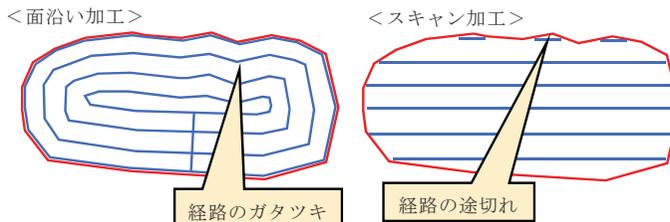


図12 領域線がガタつくことによって発生する課題

平坦部領域と傾斜部領域の境界線を、離散的な角度評価点列から作成しているためガタツキが発生する。内部的に平滑化しているが、どこまでするか判断がシステムでは難しい。

#### 4. 品質の事前折込による手戻り防止

前章で挙げた課題は、経路計算結果である経路を目視確認することで検出する。不都合な経路は修正する必要がある。実際には、経路をクリップなどで編集して、不足箇所を別経路で補うか（図 13）、あるいは加工領域や経路方向を変更して再計算する。この作業によって手戻りが発生して作業工数が増大することになる。

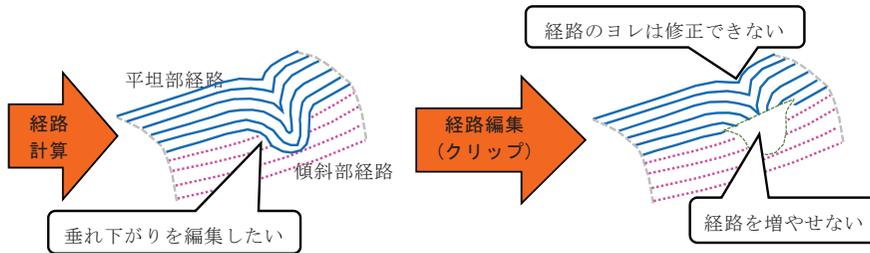


図 13 経路の修正が難しい例

等高残加工の経路計算は、領域を決め、次に領域内に経路を作成する、という二つの作業工程を1回の計算で行っている。ここで二つの作業工程を領域作成工程と経路作成工程に分割し、領域作成工程直後に求めた領域も目視確認でき、必要なら修正できるようにすることで、手戻りによる工数増加を最小限に抑えられると考えた。これが仕込みである。

一般に、経路の修正よりも領域の修正の方が容易な場合が多い。図 14 はその一例である。

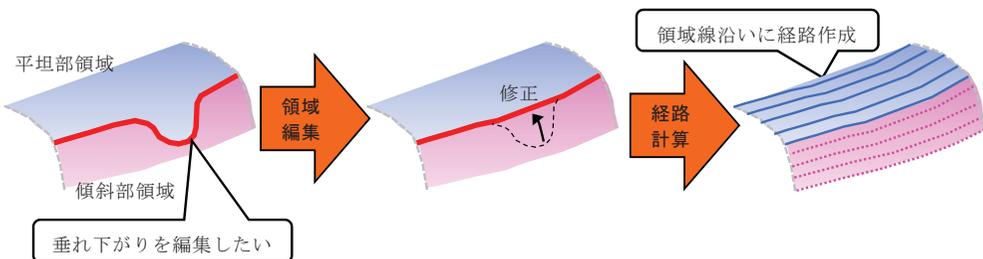


図 14 領域線の修正が適している例

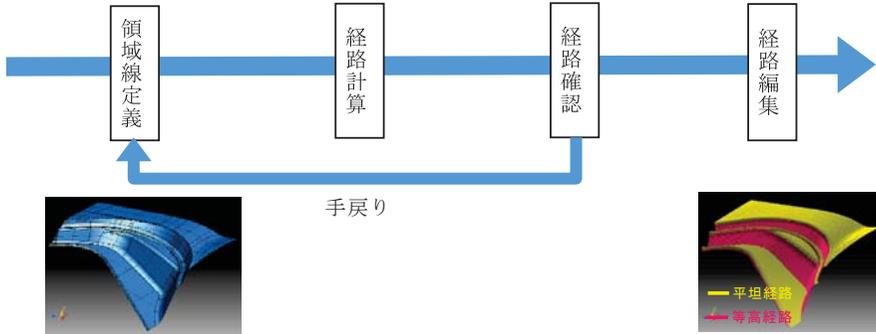
##### 4.1 仕込みの考え方

仕込みでは手戻りが発生しないシナリオを検討する。経路計算前に経路の出方を確認し、使用者の判断で適切な領域に修正することで手戻りを最小限に抑える（図 15）。続く各節で、前章で挙げた課題への対策として、仕込みで実装した機能を説明する。

##### 4.2 加工領域線の共有

形状の傾斜角度の計算位置は仕込み機能にとって非常に重要である。一般的には、形状の表面角度を傾斜角度と考える。現状の CAD 機能には、角度を指示して平坦部と傾斜部を視覚的に色で確認できる機能があり、その色の違いが表面角度を表現する（図 16）。

<従来：等高残加工>



<新規：仕込み>

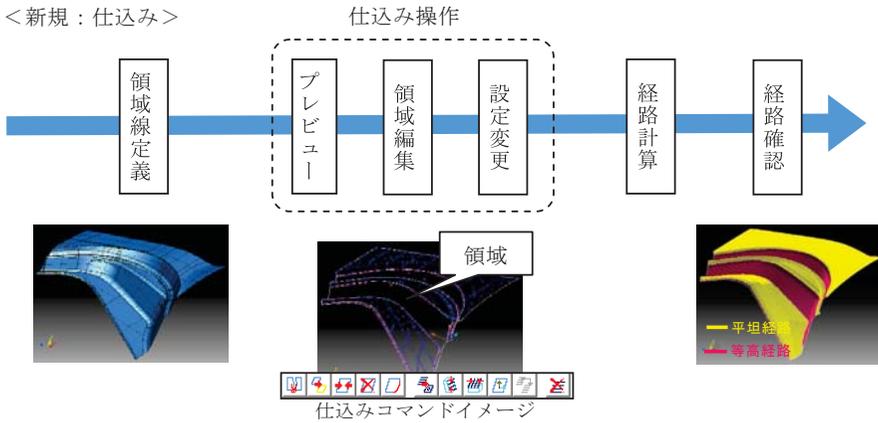


図 15 既存機能と仕込み機能のシナリオの違い

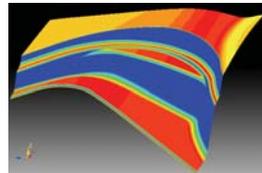


図 16 表面傾斜角度による塗りつぶし

しかし、経路は工具中心位置で作成するため、平坦部と傾斜部は工具中心位置で分けなければ経路の重なりや離れが発生する可能性がある。仕込み機能では、形状表面から工具半径分オフセットした位置で平坦部と傾斜部を計算し、領域線は隣り合う領域で共有する。領域線を共有しているため領域線を編集しても隣り合う領域の重なり・離れは発生しない (図 17)。

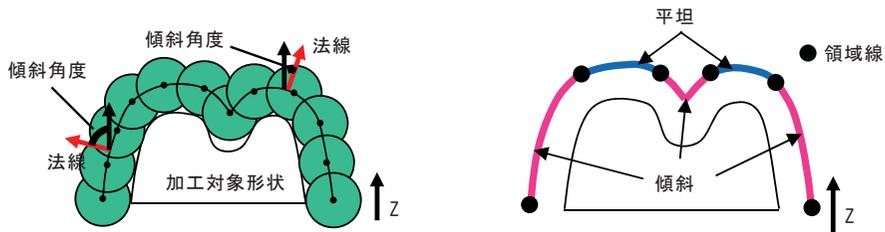


図 17 工具半径オフセット位置での傾斜角度計算

### 4.3 加工領域の最適化

領域を併合する機能で、微小領域を周辺領域に併合し、なくすことができる(図18)。また、領域を分割する機能で、領域線の一部だけが細長い形になるケースを編集することができる。細長い領域部分を分割して、その領域を周辺領域に併合すればよい(図19)。領域線の突起も編集で取り除くことができる(図20)。

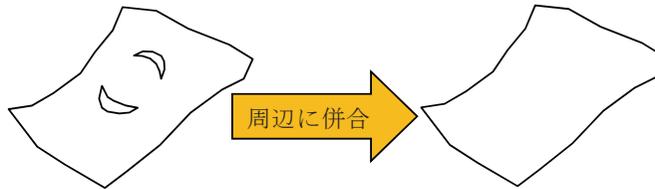


図18 微小領域の併合例

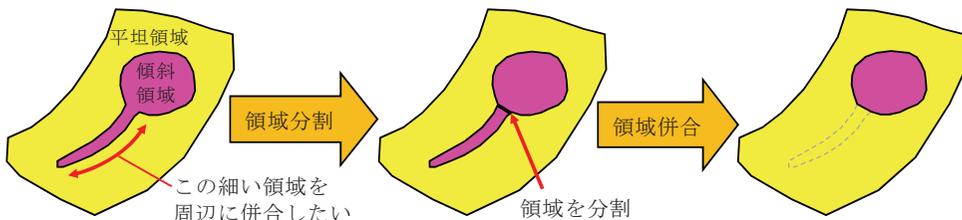


図19 領域の分割例

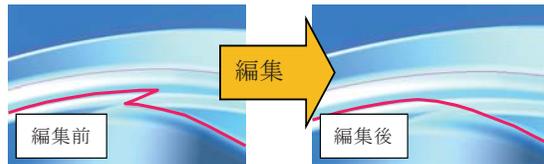


図20 領域線の突起の編集例

### 4.4 経路方向の最適化

各領域の形状特徴(長手方向, 勾配方向)を人の目で確認して、領域毎に加工法(面沿い, スキャン)を設定でき、スキャン加工の場合には更に経路方向を設定できる。領域の全体形状を認識した上で、人の目で見て判断させる。

領域に対して、ユーザが各種条件を設定した状態で、経路計算を行うが、実際に経路を目で確認して初めて正しい経路と判断できる。全領域の経路計算完了を待つことなく、順次計算完了の経路を画面に表示して確認する機能を実装している。この機能により、経路に問題があれば、条件を変更して再計算することが可能である。この再計算は、全体計算ではなく、その領域のみに対して行えるため、手戻りは最小限に抑えることができる。

### 4.5 領域線の平滑化

領域線のガタツキを、経路計算実施前に平滑化できる(図21)。ガイド線を基準に経路を作成する面沿いでは、平滑化によって滑らかな経路を作成でき、スキャンでは、途切れの少ない加工効率の良い経路が作成できる。



図 21 領域線の平滑化例

5. 適用と評価

仕込み機能によって作成した経路は、平坦部と傾斜部経路の重なりが発生せず、ピッチ粗密がない経路に仕上げることができた (図 22)。

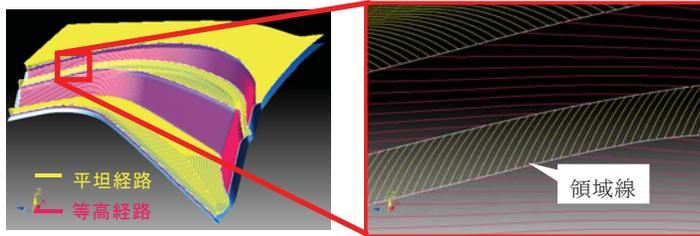


図 22 仕込み機能で作成した経路例

3章で説明した課題も、仕込み機能によって解決できている。平坦部経路と傾斜部経路の重なりは加工領域線を共有化することによって解決できた (図 23 ①')。加工法と経路方向が不適切な経路は加工法、経路方向を変更して解決できた (図 23 ①')。経路の途切れは、細かい領域を周辺領域に併合することによって解決できた (図 23 ②')。微小経路も微小領域を周辺領域に併合することによって解決できた (図 23 ③')。

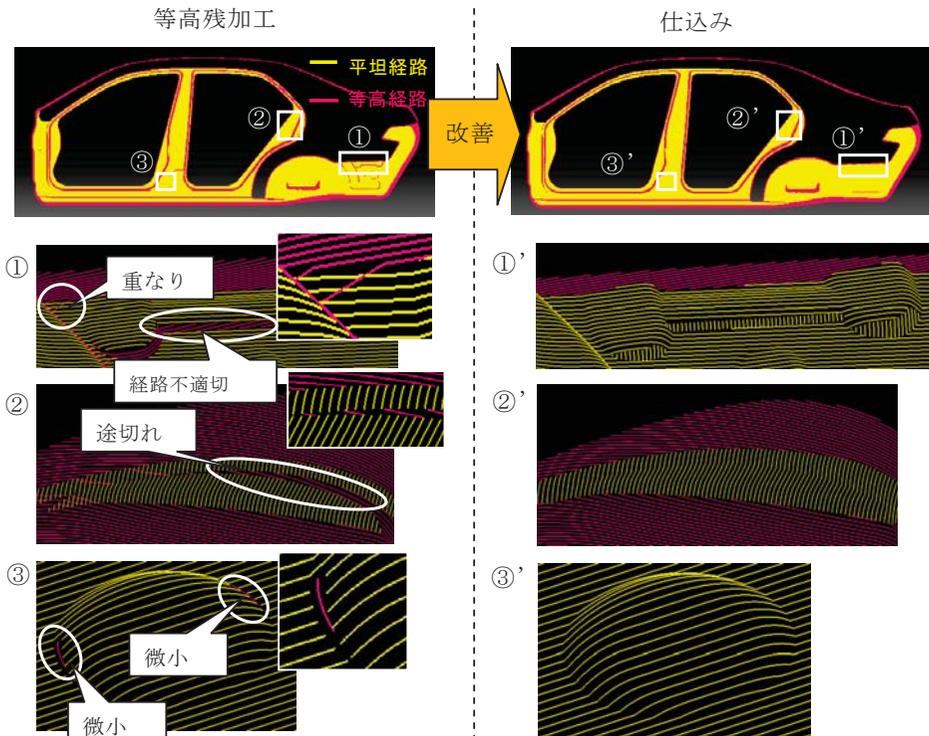


図 23 仕込み機能で改善できた経路例

作業工数削減については、顧客の試行レベルでの検証で効果が確認されており、現在は次の業務適用フェーズに向けて準備中である。最終的な作業工数削減については、曲面仕上げ分野におけるCAM作業工数の10%削減を見込んでいる。

## 6. おわりに

曲面仕上げ加工では、傾斜分割で平坦領域と傾斜領域をシステムで自動に計算することができた。しかし、加工領域の最適化、経路方向の最適化、領域線の平滑化は、システムが自動で行うよりも、人の目視による手修正の方がより確実に誤りが少ない。この部分での誤りは確実に手戻りを発生させ、作業工数増加に繋がる。ここでは誤りの少ない確実な判断が要求される。この部分はあえて自動化せずに手動で行うことで手戻りを無くした。

目視や手修正ができる仕込み機能をシステムに取り入れることによって、CAM作業のシナリオを大きく改善でき、今後更なる作業工数削減が期待できる。最後に本開発に携わり多大のご協力を賜った多くの方々に感謝する。

- 
- \* 1 カスプ：ボールもしくはラジラス工具で加工した場合に経路間にできる三角形の削り残し。
  - \* 2 日本ユニシスグループのCAD/CAM (Computer Aided Design/Manufacturing) システム CADmeister が提供する「等高残加工」を利用した。

### 執筆者紹介 蓮 沼 博 行 (Hiroyuki Hasunuma)

1993年日本ユニシス・ソフトウェア(株) (2015年日本ユニシス(株)に合併)入社。UNICAD/NC, CADCEUS, 型構造加工専用システムの開発に従事。2003年よりDynavista/CAMの曲面CAM開発。2008年から曲面CAM仕上げ分野の開発に取り組む。

